

沙漠腹地咸水滴灌条件下沙漠公路防护林根系垂直分布特征

王晓静^①, 徐新文^①, 雷加强^①, 李生字^①, 王永东^{①②}, 李中全^③

① 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011;

② 中国科学院研究生院, 北京 100049;

③ 中国石油天然气股份有限公司塔里木分公司, 库尔勒 841000

Email: sms@ms.xjb.ac.cn

2007-09-02 收稿, 2008-06-02 接受

中国科学院知识创新工程重要方向性项目(编号: KZCX3-SW-342)、国家自然科学基金项目(批准号: 40701098)、新疆维吾尔自治区重大科技专项(编号: 200733144-3)、中国科学院西部行动计划项目(编号: KZCX2-XB2-1-3)、中国科学院“西部之光”人才培养计划项目(编号: 20052118)和中国科学院新疆生态与地理研究所绿洲学者“博士人才”计划项目资助

摘要 对地处塔克拉玛干沙漠腹地咸水滴灌条件下不同林龄、不同立地条件的公路防护林体系内的根系分布规律进行研究. 根系采集采用株侧分离根系的土柱法. 研究结果表明: (1) 土壤质地不同, 根系分布存在较大差异, 在板结沙地, 根系主要集中在 0~40 cm 土层中, 在平沙地和沙垄地, 植物根系分布深, 其次是黏土地, 在单位体积的土柱中, 平沙地根系最多, 其次是沙垄地和黏土地; (2) 坡向不同, 植物根系的分布存在差异, 阳坡的根系总量大于阴坡的, 且比阴坡的根系分布深, 但毛根少于阴坡的; (3) 随着林龄的增加, 防护林根系总重量明显增加, 在定植初期根系总重量增加明显, 随着定植年限的增长, 根系总重量增加幅度不断减少.

关键词

沙漠公路
防护林
根系

根系在土体中的分布、形态、生长、发育以及吸收与分泌物都随树种而异^[1,2]. 根系对不同环境条件的反应, 如土壤、气候等都具有很强烈的反应, 对植物的生命活动特别重要, 深刻地影响着植物对环境的适应、种间竞争、生态对策等^[1~5]. 植物为了吸收较多的水分和养分, 其根系形态、密度及空间分布等产生较大的变化^[6~13]. 根系的分布特征对整个防护林系统具有重要的影响, 客观准确地描述根系的分布特征是防护林系统的建设和可持续管护的一个重要问题.

塔里木沙漠公路生态防护林工程全长 436 km, 沿线的环境条件极端恶劣, 用 4~28 g·L⁻¹ 的高矿化度咸水滴灌. 本文以沙漠公路塔中区段防护林为研究对象, 探讨不同林龄、不同立地条件下植物的根系分布特征, 为沙漠公路防护林生态工程的建设与可持续管护提供科学依据.

1 研究区域概况

本实验区属极端干旱的暖温带大陆性气候, 年平均气温 12.4℃, 年降水量 11.05 mm, 且降水量年内分布不均, 主要集中在 5~8 月; 年蒸发量 3638.6 mm, 为同期降水量的 329.1 倍. 塔中的自然植被种类贫乏, 有 9 种, 群落结构简单, 盖度极低, 绝大多数地区无植被分布, 沙丘的流动性强; 塔中的土壤类型极为简单, 以成土过程极为微弱的风沙土为主体, 其他土壤类型面积小, 土壤的质地较粗, 结构松散, 有机质含量低.

2 材料与方法

2.1 实验材料

沙漠公路的塔中防护林区段的防护林类型(定植时间、立地条件、土壤类型)齐全(表 1), 将其作为实验区.

表 1 沙漠公路塔中中段防护林地的基本状况^{a)}

定植时间	地点	地貌	土壤	植物种
1995 年	中三点三角造林地	垄间平地	风沙土	
1997 年	1.2 km 绿化(即作业区至丁子路口公路两侧林地, 原为畦灌, 后改为滴灌)	垄间平地	风沙土, 黏土地, 板结沙地	
1998 年	中国科学院寒区旱区环境与工程研究所绿化林地	垄间稀疏沙丘地	风沙土	
1999 年	防护林二期工程即丁子路口 2 km 绿化	垄间平地	风沙土	梭梭
2001 年	31.8 km 绿化, 即丁子路口南侧沙垄以南的林地	垄间平地, 垄间稀疏沙丘地、高大复合纵向沙垄, 沙垄与垄间过渡区	风沙土	怪柳 沙拐枣
2003 年	塔中油田基地周围沙垄区绿化	高大复合纵向沙垄, 沙垄与垄间过渡区	风沙土	
2004 年	大芸基地一期	垄间平地	风沙土	

a) 1995 年和 1998 年定植的防护林实验段的林带结构采用株、行距为 1 m×1 m; 2001 年和 2004 年种植的防护林的林带结构采用行间带状混交, 株、行距采用: 1 m×2 m 和 1 m×1 m, 即: 宽窄行, 宽行 2 m, 窄行 1 m, 株距均为 1 m

2.2 实验方法

根重是根系研究的常用参数. 根系鲜重的准确性常常受到植物生态状况、土壤含水率以及采样的后期处理工作的影响^[1]. 因此, 本文以根系的干重来分析根系的分布特征.

(i) 根系样品的采集. 根系采集采用株侧分离根系的土柱法, 即在植株的一侧的样方内挖土柱, 分层采集根系, 深度至没有根系出现为止^[1]. 根系采集实验的样方为 1 m×1 m, 挖掘的土柱内的根系一般包括了自身、同行相邻两株植物、邻行 3 株植物的部分根系. 因此土柱内的根系不能代表某一株植物的根系全部根系, 仅能代表林带根系层的部分状况. 本实验分别各选取长势接近林地平均状况的植株, 在该株植物的向阳面, 以该株植物的根基为样方一边(与行走向平行)的中点, 划定样方, 按等深间隔垂直向下分层采集植物根系. 将 3 株植物各层根系的干重量取平均值, 作为林地每层根系平均量.

2004 年 9~10 月垄间平沙地的根系采样: 在不同土壤条件(平沙地、沙垄地、黏土地、板结沙地)和不同林龄(10, 7, 4 和 1 年)的防护林地内, 分别选择长势中等的梭梭、怪柳和沙拐枣各 1 株植物. 在植株的向阳侧按土柱挖掘根系, 土柱截面积为 1 m×1 m, 并人工分层(采样间隔 20 cm)采集根系.

2005 年 8~10 月采集不同坡向(阴坡、阳坡)防护林的根系, 选取沙拐枣植株 3 株, 分别在其向阳侧按土柱挖掘根系, 取平均值. 挖掘样方大小均为 1 m×1 m, 采样间隔均为 10 cm; 根系通过筛子(孔径 2 mm×2 mm)筛拣收集. 为了更好地反映植物的毛根量,

在每层内取 6 个小样方, 每个小样方的大小为 10 cm×10 cm, 样点内根系过孔径 1 mm×1 mm 筛子收集, 最后将 6 个小样方的毛根量取平均值, 折算出各层的毛根量.

根系样品用水冲法洗净, 用吸水纸擦干根系表面水分, 用游标卡尺测量根系的直径. 根据根系直径划分(标准: >1 mm, <1 mm), 将分级好的根系鲜重称量(电子天平, 感量 0.01g), 最后采用烘干法(在 105℃, 持续 10~12 h)烘干各级根系并称量.

(ii) 土壤电导率的测定. 在根系采集现场同时采集各层土壤样品, 土壤样品采集方法为多点(6 点)混合法, 样品采集后马上装入密封袋中.

土壤电导率采用烘干称重法; 土壤电导值采用土壤样品风干后, 制成土水比 1:5 的土壤浸提液, 用 22B-303A 型电导仪测定.

3 结果与分析

3.1 不同立地条件下的植物根系分布

生境不同, 植物根系分布特征及生物量不同^[14~18], 本节将从不同土壤质地及不同坡向探讨植物根系分布情况.

(i) 不同土壤质地根系分布. 7 年林龄的防护林地根系采样分析表明, 土壤质地不同, 根系生长和分布都存在明显的差异. 沙垄流沙地的根系分布深度最大, 可以达到 180 cm; 其次为垄间平沙地, 可达到 160 cm, 再次是垄间黏土地, 为 120 cm, 板结沙地分布最浅, 只有 60 cm. 板结沙地在 0~40 cm 土层, 土壤容重在 1.5 g·cm⁻³ 左右, 而在 40 cm 以下土层, 土壤容重达到 1.73 g·m⁻³, 根系向下层伸展受阻大, 根

系多集中于表层 0~40 cm 的土层中,且各级根系呈扁状,毛根呈现毡片状. 垄间平沙地、沙垄流沙地、垄间黏土地在 0~100 cm 的土层中,土壤容重在 1.4~1.5 g·cm⁻³之间,根系能够正常伸展. 垄间黏土地根系分布深度小于垄间平沙地和沙垄流沙地,这主要与土壤的保水能力和透水能力的性质有关(图 1). 垄间平沙地和沙垄流沙地的土质疏松,大空隙多,通透性好,利于根系向深层生长. 黏土地的保水能力最强、通透性较差,水分渗透速率小,水分向土壤深层渗透少,主要集中于土壤上层. 植物根系具有向水和向肥性,因此垄间黏土的不利于根系的向下的生长,根系集中于土壤上层,实际观察发现黏土地的部分土壤层中甚至出现零星毡片状的毛根(图 2, 表 2).

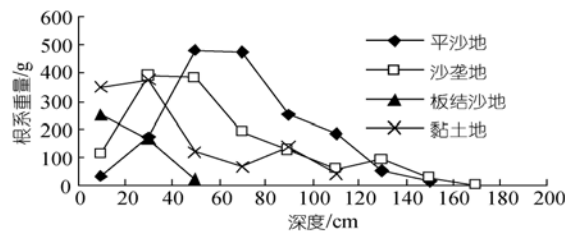


图 1 不同土壤类型条件下根系分布对比

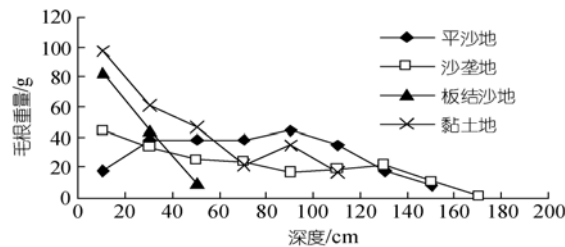


图 2 不同土壤类型条件下毛根分布对比

垄间平沙地根系最多,达到 1660.97 g; 其次是沙垄流沙地和垄间黏土地,分别达到 1376.32 和 1075.55 g; 板结沙地最少,为 436.62 g. 但从毛根(直径小于<1 mm)根系总量来看,黏土地的最多,达到 276.26 g; 其次是平沙地和沙垄地,分别达到 238.31 和 195.4 g, 板结沙地最少,为 136.47 g.

在垄间平沙地、沙垄流沙地、垄间黏土地 3 种土壤条件下,根系量随着土层深度的增加呈现先增加后减少的趋势,即根系在垂直方向上呈两头小、中间大的梭形分布;而板结沙地的根系量分布则随着深度的增加而急剧降低. 但在沙垄流沙地、垄间黏土地、垄间板结沙地中,毛根重量则都随着深度增加而呈逐渐减少的趋势,而在垄间平沙地中毛根也呈梭形分布.

土壤质地直接影响苗木根系的主要分布层位. 沙垄流沙地和垄间平沙地粉沙含量低,质地疏松、均一,根系主要分布层位深、范围广. 板结沙地粉沙含量达到 13.51%,土壤质地致密,土壤容重 1.73 g·cm⁻³,根系伸展阻力大,因此根系主要分布层位浅、范围小.

(ii) 不同坡向的植物根系分布. 不同坡向 2 年林龄的防沙林地的植物根系采样分析表明,坡向不同,植物根系的分布存在差异:阳坡的根系总量大于阴坡的,且比阴坡的根系分布深,但是毛根少于阴坡的. 如图 3 和图 4 所示,阳坡根系总量是 401.38 g,而阴坡的是 330.8 g,阳坡的根系总量为阴坡的 1.21 倍;但阳坡的毛根重量仅有 37.28 g,而阴坡却达 53.8 g,是阳坡的 1.44 倍. 在 0~50 cm 的土层中,阳坡的根系总量(273.22 g)大于阴坡(161.69 g),50 cm 以下各土层的根系总量在阴坡和阳坡之间差异不大. 阳坡的根系深度为 130 cm,而阴坡约为 120 cm,阳坡的根系分布深度略大于阴坡.

阳坡和阴坡的根系总重量和毛根重量随着深度增加都呈先增加后减少的梭形分布,根系主要集中于 30~40 cm 的土层中. 在阴坡,毛根在土壤垂直方向上呈梭形分布,主要分布于 20~90 cm,集中在 30~40 cm 的土层中,而在阳坡中分布比较均一,20 cm 以下各层毛根重量在 2~4 g. 在 0~100 cm 的土层中,阴坡土壤各层的毛根均多于阳坡.

坡向不同,土壤的水分和盐分的含量变化较大(图 5). 阴坡的土壤含水率大于阳坡的,阴坡的土壤

表 2 不同土壤的粒径分析(单位: %)

土壤质地	黏土 <5 μm	粉沙 5~63 μm	极细沙 63~125 μm	细沙 125~250 μm	中沙 250~500 μm	粗沙 >500 μm
平沙地	0	7.94	54.44	32.25	0.99	4.38
沙垄流沙地	0	5.13	42.93	46.62	5.28	0.04
板结沙地	0	13.51	49.08	23.97	5.47	7.97

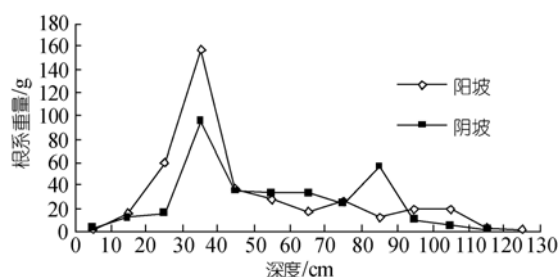


图3 不同坡向根系重量比较

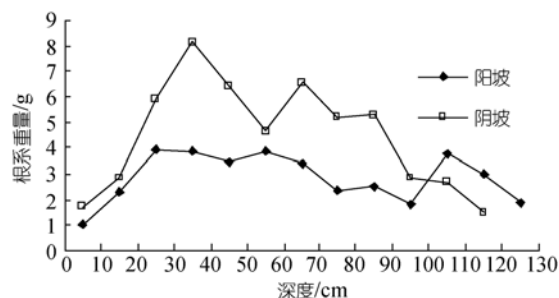


图4 不同坡向毛根重量比较

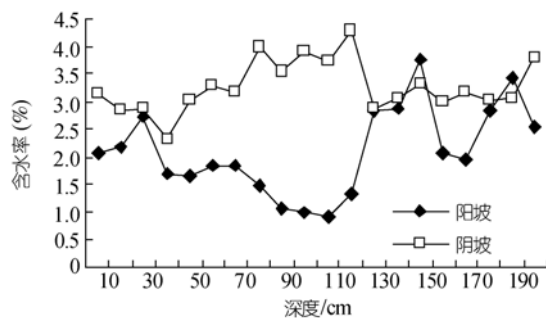


图5 不同坡向的土壤含水率

含水率平均在 3.27%，阳坡在 2.10%。土壤的含盐量一般是阳坡大于阴坡；阳坡的土壤电导值在 $0.18 \text{ ms} \cdot \text{cm}^{-1}$ 左右(图 6)，阴坡在 $0.12 \text{ ms} \cdot \text{cm}^{-1}$ 左右。坡向的土壤含水率和电导率与太阳的直射和风向有关。

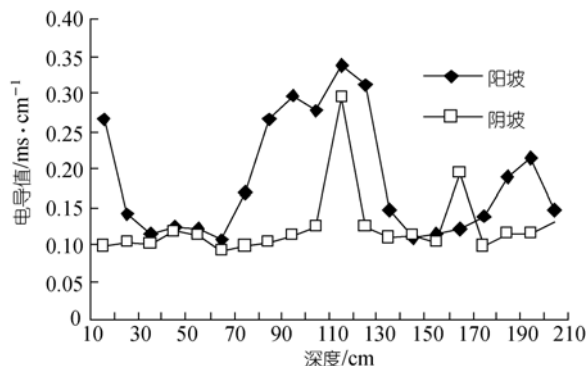


图6 不同坡向的土壤电导率

采样地阳坡是迎风坡，阴坡是背风坡。在迎风坡，风加大土壤水分的蒸发，造成盐分浓度高于阴坡的。

阳坡的根系总量大于阴坡的，且比阴坡的根系分布深，但是毛根少于阴坡的。由于阳坡太阳辐射强度大，土壤水分蒸发量大，使土壤含水量降低，盐分淋溶强度较弱，使土壤积盐，土壤溶液电导值高。含水量少促使根系不断向下生长，获得更大的空间，吸收水分和养分，而低含水率、高电导值却不利于毛根的生长。

3.2 不同林龄植物的根系分布

植物根系生物量的垂直分布随着种植年限的增加明显增加，在防护林定植初期根系生物量增加明显，而随定植年限的增长，根系生物量增加幅度不断减小。对不同林龄的植物根系生物量观测表明，根系生物量在定植的前 3 年增长幅度大，4 年林龄的根系生物量是 1 年林龄的 18.35 倍；而 7 年林龄的根系生物量仅是 4 年林龄的 1.89 倍，10 年林龄的根系生物量仅是 7 年林龄的 1.22 倍(图 7)。

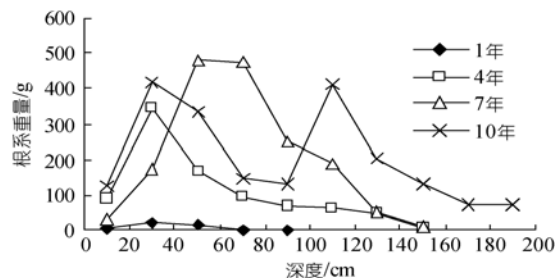


图7 不同林龄根系重量比较

不同林龄的林分，各级根系生物量所占比例也有一定的差异，总趋势随着树龄的增加，粗根生物量比例加大。林龄为 1, 4, 7 和 10 年的防护林带，根系生物量随着土层深度的增加呈现梭形分布，林龄为 10 年的防护林带，根系生物量随着土层深度的增加呈现“增加—减少—增加—减少”的趋势；而毛根生物量在 10~20 cm 的土层增加幅度大，在 20 cm 以下的土层各层逐渐减少(图 8)。

从根系生物量的核心分布层可以看出，随着防护林定植年限的增加，核心分布是逐渐加深的。在林龄为 10 年的防护林中，出现两个核心分布层，36%左右的根系分布在 20~60 cm 土层中，在 100~140 cm 的土层分布大约 30% 的根系。35% 的毛根分布在 0~60 cm 的土层中，在 60~140 cm 的土层中，毛根分布比较

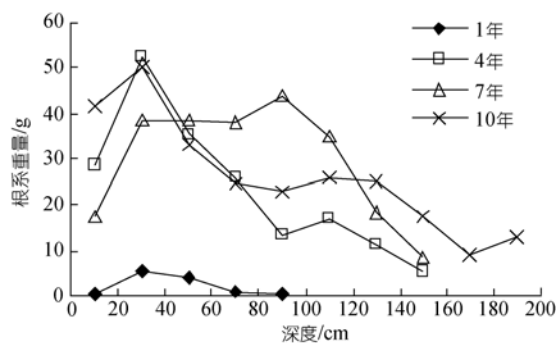


图8 不同林龄毛根重量比较

均匀,这与不同物种有关.沙拐枣根系为水平根系,分布较浅;而怪柳是垂直根系,分布较深.在生长10年的防护林试验段,在20~60 cm的土层中主要分布的是沙拐枣的根系,在100~140 cm的土层中主要分布的是怪柳的根系.

4 结论

(i) 不同土壤类型,土壤的质地、水分渗透性和土壤容重不同,植物根系分布存在较大的差异.沙垄流沙地的根系分布最深,其次是垄间平沙地和垄间黏土地,而在板结沙地分布最浅.单位体积土柱中,垄间平沙地里的根系总量最多,其次是沙垄流沙地和垄间黏土地的,板结沙地的最少.不同坡向,植物根系的分布也存在差异,阳坡的根系总量大于阴坡的,且比阴坡的根系分布深,但是毛根少于阴坡的.垄间平沙地和沙垄流沙地的防护林根系明显随着林龄的增加而逐渐增加.

(ii) 植物根系重量随着防护林种植年限的增加明显增加.在定植初期根系增加明显,而随定植年限的增长,根系重量增加幅度不断减小.

参考文献

- 1 W.伯姆著.根系研究法.北京:科学出版社,1985
- 2 盛晋华,乔永祥,刘宏义,等.梭梭根系的研究.草业学报,2004,12(2): 91—94
- 3 赵垦田.国外针叶树种根系和生态学研究综述.世界林业研究,2000,13(5): 7—10
- 4 刘建军.林木根系生态研究综述.西北林学院学报,1998,13(3): 74—78
- 5 刘晓冰,王光华,森田茂纪.根系研究的现状与展望(上).世界农业,2001,8: 33—35
- 6 I.O.巴吐宁,麦来·斯拉木.植物根系的生态可塑性.干旱区研究,1995,12(2): 24—26
- 7 李海涛.白皮沙拐枣(*Calligonum leucocladum*)根系与环境关系的初步研究.新疆农业大学学报,1996,19(1): 56—61, 72
- 8 李鹏,赵忠,李占斌,等.植被根系与生态环境相互作用机制研究进展.西北林学院研究学报,2002,17(2): 26—32
- 9 黄建辉,韩兴国,陈灵芝.森林生态系统根系生物量研究.生态学报,1999,19(2): 270—277
- 10 杜晓军,刘常富,石小宁.长白山主要森林生态系统根系生物量研究.沈阳农业大学学报,1998,29(3): 229—232
- 11 张宇清,朱清科,齐实,等.梯田生物埂几种灌木根系的垂直分布特征.北京林学大学学报,2006,28(2): 34—38
- 12 单立山,张希明,柴仲平,等.多枝怪柳幼苗根系分布对灌溉量的响应.干旱区研究,2007,24(2): 213—218
- 13 单立山,张希明,魏疆,等.塔克拉玛干沙漠腹地两种灌木有效根系密度分布规律的研究.干旱区地理,2007,30(3): 400—405
- 14 张国盛,王林和,李玉灵,等.毛乌素沙地臭柏根系分布及根量.中国沙漠,1999,19(4): 378—383
- 15 阿拉木萨,蒋德明.沙地人工小叶锦鸡儿植被根系分布与土壤水分关系研究.水土保持学报,2003,17(3): 78—81
- 16 何维明.不同生境中沙地柏根面积分布特征.林业科学,2000,36(5): 17—21
- 17 李鹏,李占斌,赵忠,等.渭北黄土高原不同立地上刺槐根系分布特征研究.水土保持通报,2002,22(5): 15—19.
- 18 李红丽,董智,王林和,等.浑善达克沙地榆树根系分布特征及生物量研究.干旱区资源与环境,2002,16(4): 99—105